

10152220  
DMS Rec'd PCT/FT 17 JAN 2005

Express Mail Label #EV561645944US

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: PETER RENZEL

FOR: METHOD FOR DETERMINING The SOUND VELOCITY IN A BASE MATERIAL,  
PARTICULARLY FOR MEASURING THE THICKNESS OF A WALL

CLAIM FOR PRIORITY

The Commissioner of Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

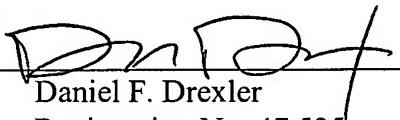
Dear Sir:

Applicant hereby claims the benefit of the filing date of July 17, 2002 of German Patent Application No. 102 32 475.1 and the filing date of June 12, 2003 of German Patent Application No. 103 27 102.3 under the provisions of 35 U.S.C. 119 and the International Convention for the Protection of Industrial Property.

If any fees are due with regard to this claim for priority, please charge them to Deposit Account No. 06-1130 maintained by Applicant's attorneys.

Respectfully submitted,

CANTOR COLBURN LLP

By: 

Daniel F. Drexler

Registration No. 47,535

CANTOR COLBURN LLP

55 Griffin Road South

Bloomfield, Connecticut 06002

Telephone: 860-286-2929

Facsimile: 860-286-0115

Customer No. 23413

Date: January 17, 2005

**BEST AVAILABLE COPY**

BUNDE~~R~~REPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 08 SEP. 2003  
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 32 475.1

**Anmeldetag:** 17. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:** Agfa NDT GmbH, Hürth/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in einem Basismaterial, insbesondere für eine Wanddickenmessung

**IPC:** G 01 P, G 01 B, G 01 N

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 27. August 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

S. L. e

**BEST AVAILABLE COPY**

© 2003

**DR. RER. NAT. WULF BAUER**  
**PATENTANWALT**

BAYENTHALGÜRTEL 15  
D - 50968 KÖLN - MARIENBURG  
TELEFON: (0221) 38 05 01  
TELEFAX: (0221) 38 05 03

**K-250**

**Anmelder:** Agfa-NDT GmbH  
Robert-Bosch-Str.3  
50354 Hürth

**Bezeichnung:** Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in einem Basismaterial, insbesondere für eine Wanddickenmessung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit  $C_b$  in einem Basismaterial unter Verwendung eines Ultraschallprüfkopfes, der einen Sendeschwinger, einen Empfangsschwinger und einen Vorlaufkörper aufweist, wobei der Vorlaufkörper a) eine Koppelfläche hat, mit der der Prüfkopf an das Basismaterial ankoppelbar ist, b) den Empfangsschwinger sowie den Sendeschwinger aufnimmt und c) eine Schallgeschwindigkeit  $C_v$  hat, der Sendeschwinger und der Empfangsschwinger jeweils schräg zueinander und schräg zur Koppelfläche ausgerichtet sind, sodass eine Hauptsenderichtung des Sendeschwingers und eine Hauptempfangsrichtung des Empfangsschwingers sich unterhalb der Koppelfläche schneiden, Sendeschwinger und Empfangsschwinger einen Mittendistanz  $K$  voneinander haben, der Sendeschwinger einen Mittendistanz  $D_s$  von der Koppelfläche und der Empfangsschwinger einen Abstand  $D_e$  von der Koppelfläche hat, bei welchem Verfahren ein Ultraschallimpuls vom Sendeschwinger erzeugt wird, durch den Vorlaufkörper in das Basismaterial läuft, dort eine Kriechwelle hervorruft und von dieser ein Teil über den Vorlaufkörper den Empfangsschwinger erreicht sowie auf eine entsprechende Vorrichtung.

Die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit  $C_b$  ist Voraussetzung dafür, die

Wanddicke des Basismaterials bestimmen zu können. Zwar ist es bekannt, die Wanddicke eines Basismaterials durch Mehrfachreflexion eines Impulses an einer Eintrittsfläche und einer Rückfläche des Basismaterials zu bestimmen, dieses Verfahren setzt aber ausreichend spiegelnde und damit glatte Flächen, insbesondere eine ausreichend glatte Rückfläche voraus, damit es zu mehrfachen Hin- und Herläufen im Basismaterial kommt. Bei rauen Rückflächen lässt sich dieses Verfahren nicht anwenden, vielmehr ist man auf einen einmaligen Hin- und Herlauf angewiesen. Über die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  kann dann die Wandstärke ermittelt werden.

Aus US 6,035,717 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung der Dicke eines beschichteten Basismaterials bekannt. Bei diesem Verfahren wird für die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit  $C_b$  des Basismaterials zunächst das unbeschichtete Basismaterial gemessen, es wird ein Impuls von einem Sendeschwinger durch den Vorlaufkörper in das Basismaterial eingeschallt, wo eine Kriechwelle erzeugt wird, von der wieder ein Anteil auskoppelt und vom Empfangsschwinger empfangen wird. Insoweit besteht Übereinstimmung mit der Erfindung.

Der Weg dieses Impulses wird gemäß US 6,035,717 nun aber als fest vorgegeben angenommen. Dem Erfinder dieser US-Patentschrift war, so hat es den Anschein, wohl bewusst, dass diese Annahme eines geometrisch festen Weges entlang der Hauptstrahlen gewisse Ungenauigkeiten in der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit  $C_b$  bringt. Er schlägt daher in praktischen Anweisungen vor, die Abstände der beiden Schwinger von der Koppelfläche möglichst gering zu halten. Dadurch wird in der Tat die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit im Basismaterial genauer, anders ausgedrückt wird die Ungenauigkeit verringert. Nun hat aber ein Prüfkopf mit kurzer Schalllaufstrecke des Vorlaufkörpers den Nachteil, dass nur wenig Material des Vorlaufkörpers für die bei jeder praktischen Prüfung stattfindende Abnutzung des Vorlaufkörpers zur Verfügung steht, der Prüfkopf also früher erneuert werden muss, als ein Prüfkopf mit grösserer Vorlaufstrecke.

Hier setzt nun die Erfindung ein. Sie hat es sich zur Aufgabe gemacht, das Verfahren nach der US 6,035,717 A dahingehend weiterzuentwickeln, dass die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial genauer bestimmt wird, dass damit auch präziser die Dicke einer Schicht auf diesem Basismaterial bestimmbar ist, und dass ein Prüfkopf verwendet werden kann, der eine für die Praxis ausreichend dicke Vorlaufstrecke aufweisen kann.

Gelöst wird diese Aufgabe ausgehend von den eingangs genannten Merkmalen und diese einschließend dadurch, dass die kürzeste Schalllaufzeit  $T_{tot}$  gemessen wird und die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial bestimmt wird über denjenigen Weg, der zwischen Sendeschwinger und Empfangsschwinger in Abhängigkeit von der Schallgeschwindigkeit die kürzeste Gesamtaufzeit  $T_{tot}$  liefert.

Bei diesem Verfahren wird der Umstand berücksichtigt, dass der Weg, den der Impuls durch den Vorlaufkörper, entlang der Oberfläche des Basismaterials (als Oberflächenwelle) und zurück durch den Vorlaufkörper nimmt, neben den vorbekannten Größen  $K$ ,  $D_v$  und  $C_v$  beeinflusst wird ( $K$  = Mittelpunktsabstand der Kontaktflächen der Schwinger,  $D_v$  = Mittelpunktsabstand der Kontaktfläche eines Schwingers von der Koppelfläche) durch die Schallgeschwindigkeit  $C_b$ . Ist diese im Vergleich zur Schallgeschwindigkeit  $C_v$  im Vorlaufkörper relativ gross, so wird auch der Anteil der Laufstrecke  $S_b$  entlang der Oberfläche des Basismaterials relativ gross. Ist dagegen die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial relativ klein, so wird die Laufstrecke  $S_b$  der Oberflächenwelle im Basismaterial relativ kurz, die Laufstrecken  $S_v$  innerhalb des Vorlaufkörpers werden dagegen länger. Ähnliche Verhältnisse liegen auch bei der Lichtbrechung zwischen unterschiedlichen optischen Medien, beispielsweise Wasser und Luft, vor. Auch in diesem Fall ist der geometrisch kürzeste Weg nicht der zeitlich kürzeste Weg für einen Lichtimpuls.

Die Leistung der Erfindung besteht nun darin, erkannt zu haben, dass das Erfassen der kürzesten Laufzeit  $T_{tot}$  des Ultraschallimpulses und ein Optimieren aller möglichen Schalllaufwege zu demjenigen Schalllaufweg hin, der die kürzeste Gesamtaufzeit als Funktion von  $C_b$  liefert, eine präzise Aussage über die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial liefert. Der Erfindung liegen somit die tatsächlichen Wege zugrunde, die ein Schallimpuls zurücklegt. Sie macht keine Annahmen über den Weg, wie dies in der US 6,035,717 A der Fall ist. Die Fehler dieses vorbekannten Messverfahrens und der entsprechenden Vorrichtung werden daher erfindungsgemäß vermieden.

Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den übrigen Ansprüchen sowie der nun folgenden Beschreibung nicht einschränkend zu verstehender Ausführungsbeispiele der Erfindung, die unter Bezugnahme auf die Zeichnung im folgenden näher erläutert werden, dabei wird auch das erfindungsgemäße Verfahren erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Figur 1: Eine prinzipielle Darstellung in Seitenansicht eines Prüfkopfes mit zwei Schwingern, der an ein Basismaterial angekoppelt ist, die einzelnen Teilstrecken des Gesamtweges sind dargestellt.

Figur 2: die Darstellung gemäß Fig. 1 mit eingezeichneten Laufstrecken, Schallgeschwindigkeiten usw.,

Figur 3: eine Darstellung wie Figur 1, jedoch hat nun zusätzlich das Basismaterial eine dünne Schicht (ein Coating), beispielsweise eine Farbe, einen Metallüberzug oder eine Kunststoffbeschichtung, und

Figur 3: eine Darstellung ähnlich Figur 1, jedoch nun mit zwei zusätzlichen Schwingern für eine Wanddickenmessung.

Der in Figur 1 gezeigte Prüfkopf hat einen speziell geformten, im wesentlichen prismatischen Vorlaufkörper 20. Dieser hat eine ebene Koppelfläche

22, auch aktive Fläche genannt und dieser gegenüberliegend Abschrägungen, an denen ein Sendeschwinger 24 bzw. ein Empfangsschwinger 26 gehalten sind, insbesondere aufgekittet sind. Beide Schwinger 24, 26 sind baugleich. Sie sind schräg zueinander und auch schräg zur Koppelfläche 22 angeordnet. Auf diese Anordnung wird im folgenden näher eingegangen.

Eine Mittelsenkrechte, also eine rechtwinklig zur Kontaktfläche des Schwingers mit dem Vorlaufkörper 20 und durch den Mittelpunkt dieser Kontaktfläche des Schwingers verlaufende Linie verläuft in einem bestimmten Winkel zur Koppelfläche 22, dieser Winkel beträgt ( $90^\circ - \alpha$ ) und ist für beide Schwinger 24, 26 gleich. Weiterhin liegen die jeweiligen Mittelsenkrechten in derselben Ebene, nämlich in der Ebene der Fig. 1.

Dies kann auch anders ausgedrückt werden: Die beiden Schwinger 24, 26 sind klappsymmetrisch zu einer Symmetrieebene 32 angeordnet. Sie sind so schräg zur Koppelfläche 22 gestellt, dass in einem Basismaterial 34, an das der Vorlaufkörper 20 über geeignete, ansich bekannte Mittel angekoppelt ist, eine Oberflächenwelle 35 erzeugt wird, worauf noch im einzelnen eingegangen wird.

Eine im wesentlichen entlang der Symmetrieebene 32 vorgesehene Trennschicht 36 sorgt dafür, dass ein direktes Übersprechen (cross talk) zwischen Sendeschwinger 24 und Empfangsschwinger 26 unterbunden wird.

Die angegebenen Mittelsenkrechten fallen üblicherweise mit einem Hauptstrahl, also einem Hauptsendestrahl 38 und einem Hauptempfangsstrahl 40 zusammen.

Die Schallgeschwindigkeit  $C_v$  im Vorlaufkörper 20 ist bekannt. Bekannt ist auch der Abstand  $K$  zwischen den Flächenmittelpunkten der beiden Schwinger 24, 26. Schliesslich sind der Abstand des Flächenmittelpunktes des Sendeschwingers 24 von der Koppelfläche 22 und der Abstand des Mittel-

6

punktes des Empfangsschwingers 26 von der Koppelfläche 22 bestimmbar und somit bekannt. Aufgrund der Symmetrie haben beide den Wert  $D_v$ . Mit Hilfe nur dieser Vorgaben ist es nun möglich, die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial 34 zu bestimmen. In einem weiteren Schritt kann man dann die Dicke, also die Wanddicke  $D_b$  des Basismaterials 34 bestimmen.

Wenn die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial 34 etwa so gross ist wie die Schallgeschwindigkeit  $C_v$  im Vorlaufkörper 20, ist der kürzeste Weg eines Schallimpulses vom Sendeschwinger 24 zum Empfangsschwinger 26 der folgende: Der Impuls läuft entlang des Hauptsendestrahls, dann als Oberflächenwelle 35 im Basismaterial 34 und schliesslich wieder entlang des Hauptempfangsstrahls 40 in den Empfangsschwinger 26. Dieser Weg ist in Fig. 1 gestrichelt eingezeichnet, er verläuft entlang dem Hauptsendestrahl 38 und dem Hauptempfangsstrahl 40.

Ist nun aber die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial 34 deutlich kleiner als diejenige im Vorlaufkörper 20, so wird der Schallweg möglichst viel Strecke innerhalb des Vorlaufkörpers 20 nutzen, die Länge der Strecke  $S_b$ , die durch die Oberflächenwelle 38 im Basismaterial 34 realisiert ist, wird kurz. Dieser Fall ist in Figur 1 durch einen gepunktet dargestellten Schalllaufweg 42 dargestellt.

Ist andersherum die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial deutlich grösser als diejenige im Vorlaufkörper 20, wird die Schallstrecke  $S_v$  innerhalb des Vorlaufkörpers 20 kurz zugunsten einer längeren Laufstrecke  $S_b$  als Oberflächenwelle 35. Dieser Fall ist in Figur 1 durch den strichpunktierten Schalllaufweg 44 dargestellt.

Zur Vereinfachung der Darstellung ist in Figur 1 lediglich der komplette Schalllaufweg gestrichelt dargestellt, der entlang der Hauptstrahlen 38, 40 verläuft. Man erkennt, dass die Laufstrecke  $S_b$  der Oberflächenwelle 35 eine Funktion der Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial 34 ist und zudem

von den konstanten Größen K, Cv und Dv abhängt. Erfindungsgemäß wird die Schallgeschwindigkeit Cb im Basismaterial 34 über die Optimierung des zugehörigen Schalllaufweges erhalten. Es wird also der Schalllaufweg zugrunde gelegt, der die kürzeste Gesamtaufzeit Ttot als Funktion der zu ermittelnden Schallgeschwindigkeit Cb liefert.

Nun nimmt zwar die Amplitude des Schalldrucks ab, je größer der Winkel zum Hauptstrahl ist. Misst man jedoch lediglich das Signal mit kürzester Gesamtaufzeit Ttot, so ist man innerhalb gewisser Grenzen von der Amplitude des Empfangssignals unabhängig. Ideal wäre es, wenn die Swinger 24, 26 Kugelstrahler wären, dies ist jedoch nicht der Fall. Innerhalb der in der Praxis vorkommenden Schallgeschwindigkeiten macht sich der Einfluss der nicht kugelförmigen Abstrahlung der Swinger 24, 26 nicht so stark bemerkbar, dass man dies berücksichtigen und speziell auswerten müsste.

Der jeweilige Weg, den der Schallimpuls mit der kürzesten Gesamtaufzeit Ttot nimmt, ist somit eine Funktion der Schallgeschwindigkeit Cb und weiterhin abhängig von den bekannten Werten K, Dv und Cv. Bei nicht klapp-symmetrischem Aufbau müssen die unterschiedlichen Mittelpunktsentfernung des Sendeschwingers 24 und des Empfangsschwingers 26 von der Koppelfläche 22 berücksichtigt werden.

Gemäß Figur 1 breitet sich der Ultraschall vom Sendeschwinger 24 über ein erstes Wegstück Sv bis hin zum Basismaterial 34 aus, wofür er die Zeit Tv benötigt. Dort wird eine Kriechwelle 35 erzeugt. Sie hat die in Figur 1 angegebene Länge Sb. Diese Länge wird in der Zeit Tb durchlaufen. Von der Kriechwelle erreicht ein Anteil den Empfangsschwinger 26 über einen Weg, der aufgrund der Symmetrie die Länge Sv hat und für den die Zeit Tt benötigt wird.

Gesucht wird nach der Entfernung Sb zwischen dem Anfangspunkt und dem Endpunkt der Kriechwelle bzw. Oberflächenwelle 35 für longitudinale Wel-

len:

Im folgenden werden allgemeine Formeln aufgestellt für die Schallausbreitung. Dabei wird lediglich die kürzeste Gesamtlaufzeit  $T_{tot}$  beachtet. Um diese zu ermitteln, ist es notwendig, die gesamte Laufstrecke vom Sendeschwinger 24 zum Empfangsschwinger 26 zu berücksichtigen. Als zeitlich konstant jedenfalls für die kurze Dauer der Messung, und auch als vorbekannt werden angenommen  $K = \text{Mittelpunktsentfernung der Prüfköpfe } 24, 26$ ;  $D_v = \text{Mittelpunktsentfernung der Schwinger } 24, 26 \text{ von der Koppelfläche } 22$  und  $C_v = \text{Schallgeschwindigkeit im Vorlaufkörper}$ .

Ein vom Sendeschwinger 24 ausgesandter Ultraschallimpuls bewirkt im Basismaterial 34 nicht nur eine Oberflächenwelle 34, sondern auch noch weitere Wellen, die longitudinale Oberflächenwelle 36 hat die kürzeste Laufstrecke und auch die kürzeste Gesamtlaufzeit  $T_{tot}$ .

Gemäß Figur 2 gilt:

- (1)  $S_b = K - 2K_b;$
- (2)  $\tan \alpha_v = \frac{K_b}{D_v}; \rightarrow K_b = D_v \tan \alpha_v;$
- (3)  $S_b = K - 2D_v \tan \alpha_v; \quad (1/2)$

Unterschiedliche Schalllaufwege unterscheiden sich im Eintrittswinkel  $\alpha_v$ . Dieser wird erhalten unter der Annahme einer kürzest möglichen Gesamtlaufzeit  $T_{tot}$ :

- (4)  $T_{tot} = 2T_v + T_b;$
- (5)  $C_v = \frac{S_v}{T_v}; \rightarrow T_v = \frac{S_v}{C_v};$
- (6)  $C_b = \frac{S_b}{T_b}; \rightarrow T_b = \frac{S_b}{C_b};$
- (7)  $\cos \alpha_v = \frac{D_v}{S_v}; \rightarrow S_v = \frac{D_v}{\cos \alpha_v};$
- (8)  $T_v = \frac{D_v}{C_v \cos \alpha_v}; \quad (5/7)$

$$(9) \quad T_{tot} = \frac{2D_v}{C_v \cos \alpha_v} + \frac{K - 2D_v \tan \alpha_v}{C_b}; \quad (4/8/3/6)$$

$$(10) \quad T_{tot} = \frac{K}{C_b} + 2D_v \left( \frac{1}{C_v \cos \alpha_v} - \frac{\tan \alpha_v}{C_b} \right); \quad (9)$$

Gesucht wird ein Minimum der linearen Funktion  $T_{tot}(\alpha_v)$ . Dies kann beispielsweise über die erste Ableitung nach dem Winkel  $\alpha_v$  ermittelt werden, die erste Ableitung muss für einen gewissen Winkel  $\alpha_v$  null sein, die zweite Ableitung muss positiv sein:

$$(11) \quad \frac{\partial T_{tot}(\alpha_v)}{\partial \alpha_v} = 0;$$

$$(12) \quad \frac{\partial T_{tot}(\alpha_v)}{\partial \alpha_v} = 2D_v \left( \frac{\sin \alpha_v}{C_v \cos^2 \alpha_v} - \frac{1}{C_b \cos^2 \alpha_v} \right) = 0; \quad (10)$$

$$(13) \quad \frac{\sin \alpha_v}{C_v} - \frac{1}{C_b} = 0; \rightarrow \sin \alpha_v = \frac{C_v}{C_b}; \rightarrow \alpha_v = \arcsin\left(\frac{C_v}{C_b}\right); \quad (12)$$

Berücksichtigt man nun (3), erkennt man, dass die Schalllaufstrecke  $S_b$  abhängig ist von den beiden Schallgeschwindigkeiten  $C_v$  und  $C_b$ :

$$(14) \quad S_b = K - 2D_v \tan\left(\arcsin\left(\frac{C_v}{C_b}\right)\right); \quad (3/12)$$

Da man  $K$ ,  $D_v$  und  $C_v$  als konstant annehmen kann, bedeutet dies:

$S_b = f(C_b)$ . Die nachfolgende Gleichung (15) beschreibt nun die Abhängigkeit zwischen der gemessenen Gesamtaufzeit  $T_{tot}$  und der zu ermittelnden Schallgeschwindigkeit  $C_b$ :

$$(15) \quad T_{tot} = \frac{K}{C_b} + 2D_v \left( \frac{1}{C_v \cos\left(\arcsin\left(\frac{C_v}{C_b}\right)\right)} - \frac{\tan\left(\arcsin\left(\frac{C_v}{C_b}\right)\right)}{C_b} \right); \quad (9/12)$$

Damit ist ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Gesamtaufzeit  $T_{tot}$  und der zu ermittelnden Schallgeschwindigkeit  $C_b$  erreicht. Alle anderen Größen in der Gleichung (15) sind bekannt und konstant.

10

Somit ist über die Gesamlaufzeit  $T_{tot}$  eindeutig die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial möglich. Mit dieser Erkenntnis kann nun die Wanddicke  $D_b$  des Basismaterials bestimmt werden.

Figur 3 zeigt die Anordnung aus den voran gegangenen Figuren, jedoch befindet sich nun zusätzlich eine Schicht 46, ein sogenanntes Coating auf dem Basismaterial 34. Diese Schicht hat eine Dicke  $D_s$ . Sie soll über die Schallgeschwindigkeit  $C_s$  der Schicht ermittelt werden. Da auch diese unbekannt ist, wird wieder wie zuvor zunächst die Schallgeschwindigkeit ermittelt.

Figur 3 zeigt wiederum lediglich die Schalllaufstrecke mit der kürzesten Gesamlaufzeit  $T_{tot}$ . Es finden zwar noch andere Ausbreitungen statt, beispielsweise wird auch an der Koppelfläche 22 zu gewandten Fläche des Coatings 46 eine Oberflächenwelle erzeugt, diese soll aber zeitlich nach der Oberflächewelle 35 im Basismaterial 34 eintreffen. Dies bedeutet, dass die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial 34 ausreichend größer als die Schallgeschwindigkeit  $C_s$  in der Schicht 46 sein muss. In der Praxis ist dies zumeist erfüllt. Das Basismaterial ist typischerweise ein Metall, die Schallgeschwindigkeiten liegen bei 6000 m/s. Die Schicht 46 ist typischerweise ein Kunststoff, eine Farbe und dergleichen, die Schallgeschwindigkeiten liegen typischerweise bei 2000 bis 3000 ms. Für den Fall, dass die Schallgeschwindigkeit  $C_s$  in der Schicht 46 relativ groß ist, beispielsweise die Schicht ein Metallüberzug auf einem Basismaterial aus Kunststoff ist, die Schicht aus einem Metall höherer Schallgeschwindigkeit als das Basismaterial besteht, z.B. Coating in Ag, Basismaterial in Au, muss entsprechend den voraus gegangenen Überlegungen gearbeitet werden, indem einfach als Basismaterial die Schicht 46 eingesetzt wird.

Im Folgenden wird der in Figur 3 gezeigte Schalllaufweg als kürzester Laufweg betrachtet. Der Eintrittswinkel  $\alpha_1$  wird in der Schicht 46 geändert zu  $\alpha_2$ . Die Laufstrecken im Volumen der Schicht 46 ergeben sich aus Figur 3, sie betragen  $S_s$ . Die zugehörige Schalllaufzeit beträgt  $T_s$ .

11

Für die kürzeste Gesamtaufzeit gilt dann:

$$(16) \quad T_{tot} = 2(T_v + T_s) + T_b;$$

$$(17) \quad C_v = \frac{S_v}{T_v}; \rightarrow T_v = \frac{S_v}{C_v};$$

$$(18) \quad \cos \alpha_v = \frac{D_v}{S_v}; \rightarrow S_v = \frac{D_v}{\cos \alpha_v};$$

$$(19) \quad T_v = \frac{D_v}{C_v \cos \alpha_v}; \quad (17/18)$$

In der Schicht 46 sind die Verhältnisse entsprechend, für die Schicht 46 gilt:

$$(20) \quad T_s = \frac{D_s}{C_s \cos \alpha_s}; \quad (19)$$

$$(21) \quad T_b = \frac{S_b}{C_b};$$

$$(22) \quad S_b = K - 2(K_b + K_s);$$

$$(23) \quad \tan \alpha_v = \frac{K_s}{D_v}; \rightarrow K_s = D_v \tan \alpha_v;$$

$$(24) \quad \tan \alpha_s = \frac{K_b}{D_s}; \rightarrow K_b = D_s \tan \alpha_s;$$

$$(25) \quad S_b = K - 2(D_s \tan \alpha_s + D_v \tan \alpha_v); \quad (22/23/24)$$

$$(26) \quad T_b = \frac{K - 2(D_s \tan \alpha_s + D_v \tan \alpha_v)}{C_b}; \quad (21/25)$$

Es liegen nun alle Elemente für  $T_{tot}$  vor:

$$(27) \quad T_{tot} = 2\left(\frac{D_v}{C_v \cos \alpha_v} + \frac{D_s}{C_s \cos \alpha_s}\right) + \frac{K - 2(D_s \tan \alpha_s + D_v \tan \alpha_v)}{C_b}; \quad (16/19/20/26)$$

12

$$(28) \quad T_{\text{tot}} = \frac{2D_v}{C_v \cos \alpha_v} + \frac{2D_s}{C_s \cos \alpha_s} + \frac{K}{C_b} - \frac{2D_v \tan \alpha_v}{C_b} - \frac{2D_s \tan \alpha_s}{C_b}; \quad (27)$$

$$(29) \quad T_{\text{tot}} = \frac{K}{C_b} + 2(D_v(\frac{1}{C_v \cos \alpha_v} - \frac{\tan \alpha_v}{C_b}) + D_s(\frac{1}{C_s \cos \alpha_s} - \frac{\tan \alpha_s}{C_b})); \quad (28)$$

Die Gesamtaufzeit  $T_{\text{tot}}$  ist nun also nicht nur (wie in (15)) eine Funktion des Eintrittswinkels  $\alpha_v$ , sondern auch eine Funktion des Eintrittswinkels  $\alpha_s$  und lässt sich wie folgt darstellen:

$$(30) \quad T_{\text{tot}}(\alpha_v, \alpha_s) = \frac{K}{C_b} + 2(f_1(\alpha_v) + f_2(\alpha_s)); \quad (29)$$

Wenn die Funktion  $T_{\text{tot}}(\alpha_v, \alpha_s)$  ein Minimum hat, kann dies ebenso wieder über die erste Ableitung nach den beiden Winkeln festgestellt werden. Die ersten Ableitungen müssen 0 sein:

$$(31) \quad \frac{\partial f_1(\alpha_v)}{\partial \alpha_v} = 0!$$

$$(32) \quad \frac{\partial f_2(\alpha_s)}{\partial \alpha_s} = 0!$$

$$(33) \quad \frac{\partial f_1(\alpha_v)}{\partial \alpha_v} = D_v(\frac{\sin \alpha_v}{C_v \cos^2 \alpha_v} - \frac{1}{C_b \cos^2 \alpha_v}) = 0 \quad (31/29)$$

$$(34) \quad \frac{\sin \alpha_v}{C_v} - \frac{1}{C_b} = 0; \rightarrow \frac{\sin \alpha_v}{C_v} = \frac{1}{C_b}; \rightarrow \sin \alpha_v = \frac{C_v}{C_b}; \rightarrow \alpha_v = \arcsin(\frac{C_v}{C_b}); \quad (33)$$

$$(35) \quad \frac{\partial f_2(\alpha_s)}{\partial \alpha_s} = D_s(\frac{\sin \alpha_s}{C_s \cos^2 \alpha_s} - \frac{1}{C_b \cos^2 \alpha_s}) = 0 \quad (32/29)$$

$$(36) \quad \frac{\sin \alpha_s}{C_s} - \frac{1}{C_b} = 0; \rightarrow \frac{\sin \alpha_s}{C_s} = \frac{1}{C_b}; \rightarrow \sin \alpha_s = \frac{C_s}{C_b}; \rightarrow \alpha_s = \arcsin(\frac{C_s}{C_b}); \quad (35)$$

Die Ergebnisse (34) und (36) werden nun in die Gleichung (29) eingesetzt, dies ergibt:

(37)

$$T_{\text{tot}} = \frac{K}{C_b} + 2(D_v \left( \frac{1}{C_v \cos \arcsin(\frac{C_v}{C_b})} - \frac{\tan \arcsin(\frac{C_v}{C_b})}{C_b} \right) + D_s \left( \frac{1}{C_s \cos \arcsin(\frac{C_s}{C_b})} - \frac{\tan \arcsin(\frac{C_s}{C_b})}{C_b} \right));$$

(29/34/36))

Über ein geeignetes Messinstrument, beispielsweise das Gerät DMS 2 der Anmelderin kann die kürzeste Gesamlaufzeit  $T_{\text{tot}}$  gemessen werden, damit wird die Schallgeschwindigkeit  $C_s$  bestimmbar. Über sie kann die Dicke  $D_s$  der Schicht 46 und/oder kann die Dicke  $D_b$  des Basismaterials 34 nun bestimmt werden beispielsweise wie folgt: Über ein zusätzliches Schwingerpaa für Dickenmessung mit den Schwingern 48, die baugleich sind, wird so steil eingeschaltet, dass sich keine Oberflächenwellen ergeben, siehe Figur 4. Zeitlich nach einem Eintrittsecho erhält man ein erstes Echo von der Grenzschicht 46/Basismaterial 34. Aus der Zeitdifferenz zwischen Eintrittsecho und diesem ersten Echo und der zuvor ermittelten Schallgeschwindigkeit  $C_s$  kann die Dicke  $D_s$  der Schicht 46 bestimmt werden.

Ein zweites, zeitlich nachfolgendes Echo erhält man von einer Rückwand 50 des Basismaterials 34. Aus der Zeitdifferenz zwischen den beiden Echos und der zuvor gemessenen Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial 34 kann dessen Dicke  $D_b$  bestimmt werden. Die Dicke  $D_b$  kann aber auch als Differenz dieses Echos der Rückwand 50 zum Eintrittsecho unter Berücksichtigung der Schallgeschwindigkeiten, abzüglich der Dicke  $D_s$  der Schicht 46 erhalten werden.

Aus der Gleichung (37) werden noch folgende Zusammenhänge erkennbar bzw. deutlich:

- 1)  $\frac{C_v}{C_b}$  und  $\frac{C_s}{C_b}$  müssen kleiner als 1 sein;
- 2)  $C_s$  kann kleiner als  $C_v$  sein.

**DR. RER. NAT. WULF BAUER**  
**PATENTANWALT**

BAYENTHALGÜRTEL 15  
D - 50968 KÖLN - MARIENBURG  
TELEFON: (0221) 38 05 01  
TELEFAX: (0221) 38 05 03

**K-250**

**Anmelder:** Agfa-NDT GmbH  
Robert-Bosch-Str.3  
50354 Hürth

**Bezeichnung:** Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in einem Basismaterial, insbesondere für eine Wanddickenmessung

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit  $C_b$  in einem Basismaterial (34) unter Verwendung eines Ultraschallprüfkopfes, der einen Sendeschwinger (24), einen Empfangsschwinger (26) und einen Vorlaufkörper (20) aufweist, wobei der Vorlaufkörper (20) a) eine Koppelfläche (22) hat, mit der der Prüfkopf an das Basismaterial (34) ankoppelbar ist, b) den Empfangsschwinger (26) sowie den Sendeschwinger (24) aufnimmt und c) eine Schallgeschwindigkeit  $C_v$  hat, der Sendeschwinger (24) und der Empfangsschwinger (26) jeweils schräg zueinander und schräg zur Koppelfläche (22) ausgerichtet sind, sodass eine Hauptsenderichtung des Sendeschwingers (24) und eine Hauptempfangsrichtung des Empfangsschwingers sich unterhalb der Koppelfläche (22) schneiden, Sendeschwinger (24) und Empfangsschwinger (26) einen Mittenabstand  $K$  voneinander haben, der Sendeschwinger (24) und der Empfangsschwinger (26) einen Mittenabstand  $D_v$  von der Koppelfläche (22) hat, bei welchem Verfahren ein Ultraschallimpuls vom Sendeschwinger (24) erzeugt wird, durch den Vorlaufkörper (20) in das Basismaterial (34) läuft, dort eine

Kriechwelle (35) hervorruft und von dieser ein Teil über den Vorlaufkörper (20) den Empfangsschwinger (26) erreicht, die kürzeste Schalllaufzeit  $T_{tot}$  gemessen wird und die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial (34) bestimmt wird über denjenigen Weg zwischen Sendeschwinger (24) und Empfangsschwinger, der die kürzeste Gesamtaufzeit  $T_{tot}$  liefert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass derjenige Weg, der die kürzeste Gesamtaufzeit  $T_{tot}$  liefert, bestimmt wird durch Aufsummieren der Laufstrecke vom Sendeschwinger (24) zum Basismaterial (34), der Laufstrecke im Basismaterial (34) und der Laufstrecke vom Basismaterial (34) zum Empfangsschwinger (26) und Optimieren dieser Laufstrecken hinsichtlich der kürzesten Gesamtaufzeit  $T_{tot}$ , insbesondere differenzieren nach dem Winkel.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die kürzeste Gesamtaufzeit  $T_{tot}$  erhalten wird über

$$T_{tot} = \frac{K}{C_b} + 2Dv \left( \frac{1}{C_v \cos(\arcsin(\frac{C_v}{C_b}))} - \frac{\tan(\arcsin(\frac{C_v}{C_b}))}{C_b} \right).$$

4. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Sendeschwinger (24) und Empfangsschwinger (26) baugleich sind, dass ihre Hauptstrahlen (38, 40) in derselben Ebene liegen und dass ihre Hauptstrahlen (38, 40) im selben Winkel zur Koppelfläche (22) verlaufen.
5. Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in einem Überzugsmaterial, das sich als Schicht (46) auf dem Basismaterial (34) befindet, bei welchem Verfahren zunächst gemäss Anspruch 1 die Schallgeschwindigkeit  $C_b$  im Basismaterial (34) bestimmt wird und anschliessend der Prüfkopf auf die Schicht (46) aufgesetzt wird, die eine Dicke  $D_s$  aufweist, ein Ultraschallimpuls vom Sendeschwinger (24) erzeugt wird, der

## 16

schräg zur Koppelfläche (22) sowohl durch den Vorlaufkörper (20) als auch durch die Schicht (46) hindurchläuft, eine Kriechwelle im Basismaterial (34) hervorruft und von dieser wieder als Teil durch die Schicht (46) und durch den Vorlaufkörper (20), schräg zur Koppelfläche, den Empfangsschwinger (26) erreicht, dass das Empfangssignal mit der kürzesten Gesamtlaufzeit  $T_{tot}$  erfasst und gemessen wird und dass die Schallgeschwindigkeit  $C_s$  in der Schicht (46) ermittelt wird aus demjenigen Weg, der die kürzeste Gesamtlaufzeit  $T_{tot}$  liefert.

6. Verfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit  $C_s$  in einem Überzugsmaterial nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die kürzeste Gesamtlaufzeit  $T_{tot}$  erhalten wird aus

$$T_{tot} = \frac{K}{C_b} + 2(Dv\left(\frac{1}{C_v \cos \arcsin(\frac{C_v}{C_b})} - \frac{\tan \arcsin(\frac{C_v}{C_b})}{C_b}\right) + Ds\left(\frac{1}{C_s \cos \arcsin(\frac{C_s}{C_b})} - \frac{\tan \arcsin(\frac{C_s}{C_b})}{C_b}\right)),$$

mit  $Ds$  = Dicke der Schicht.

1/2

Fig. 1

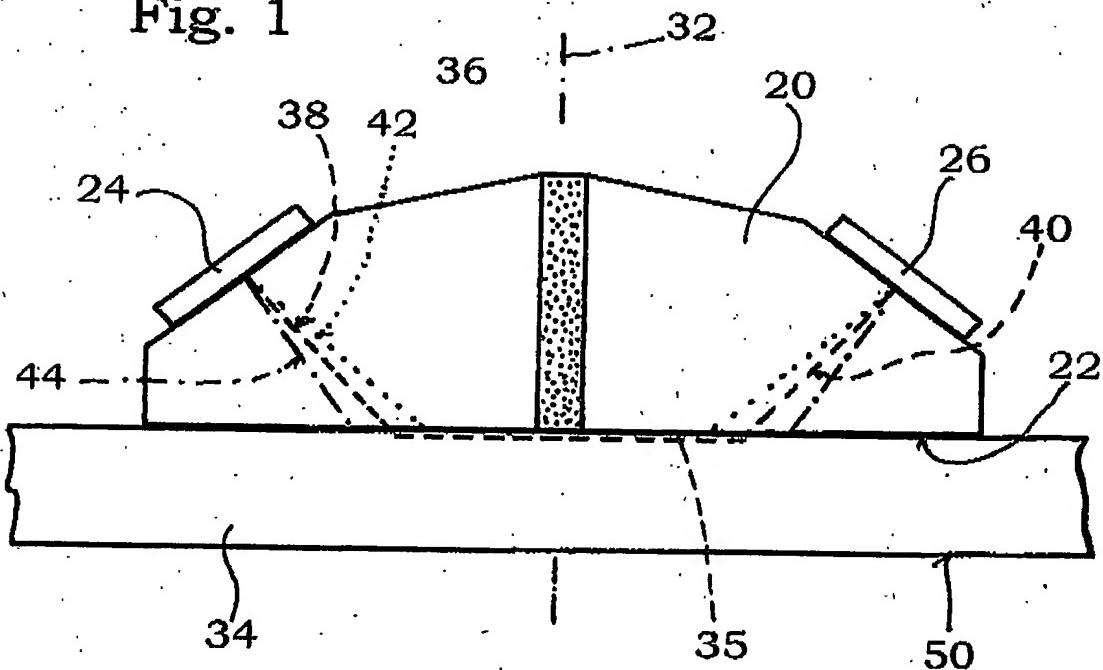
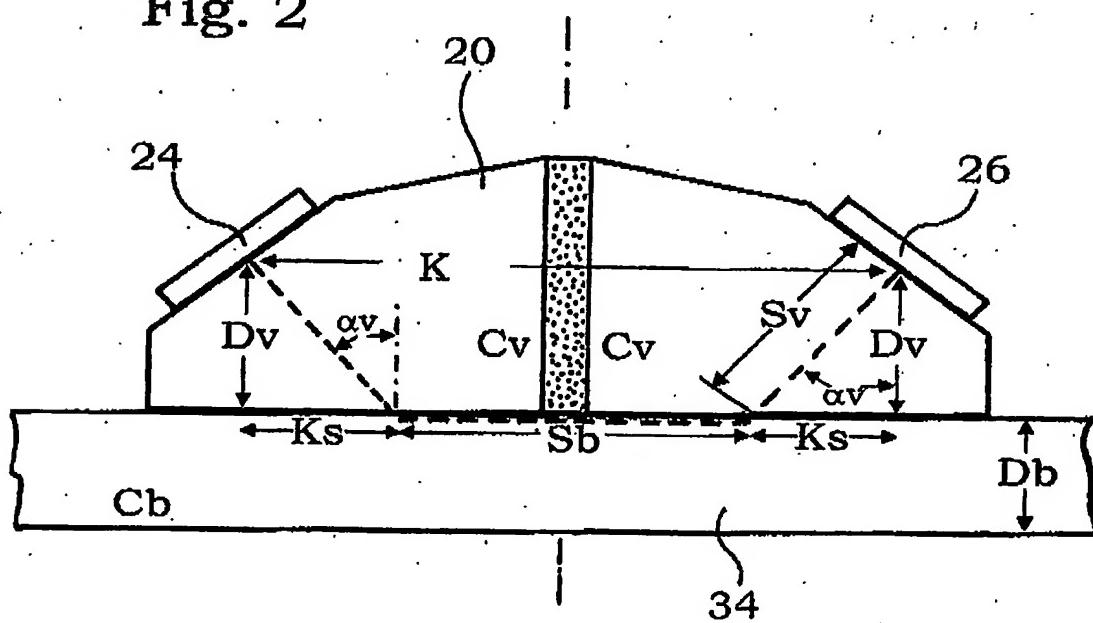


Fig. 2



2/2

Fig. 3

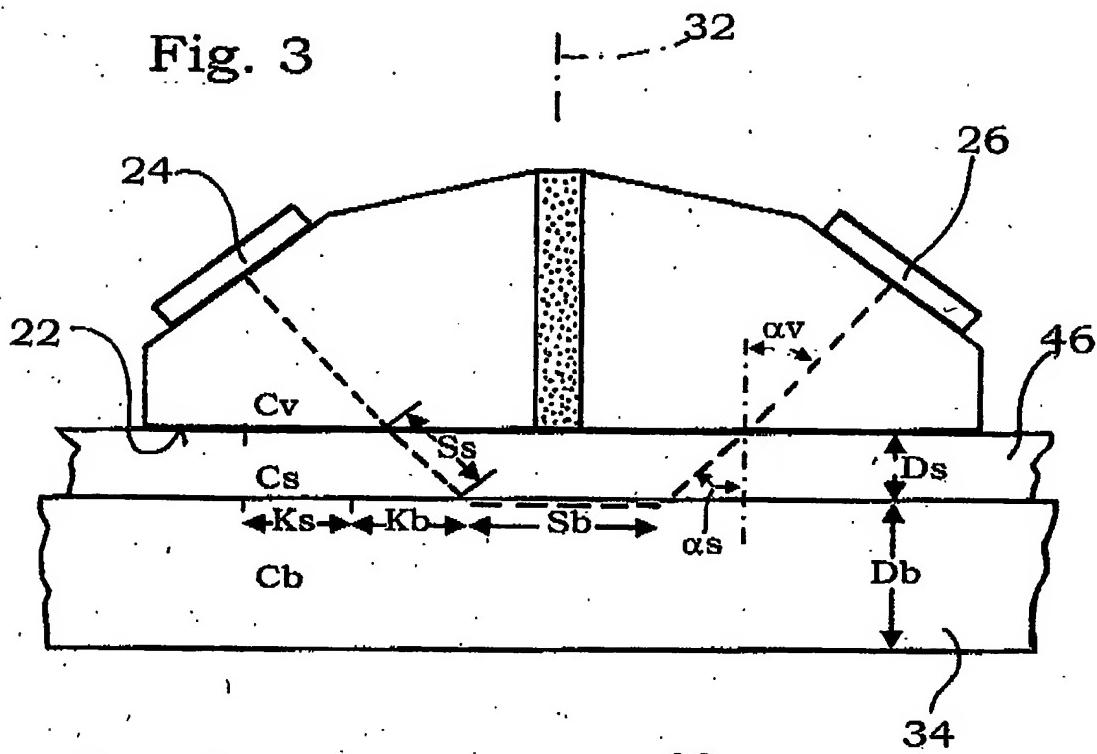
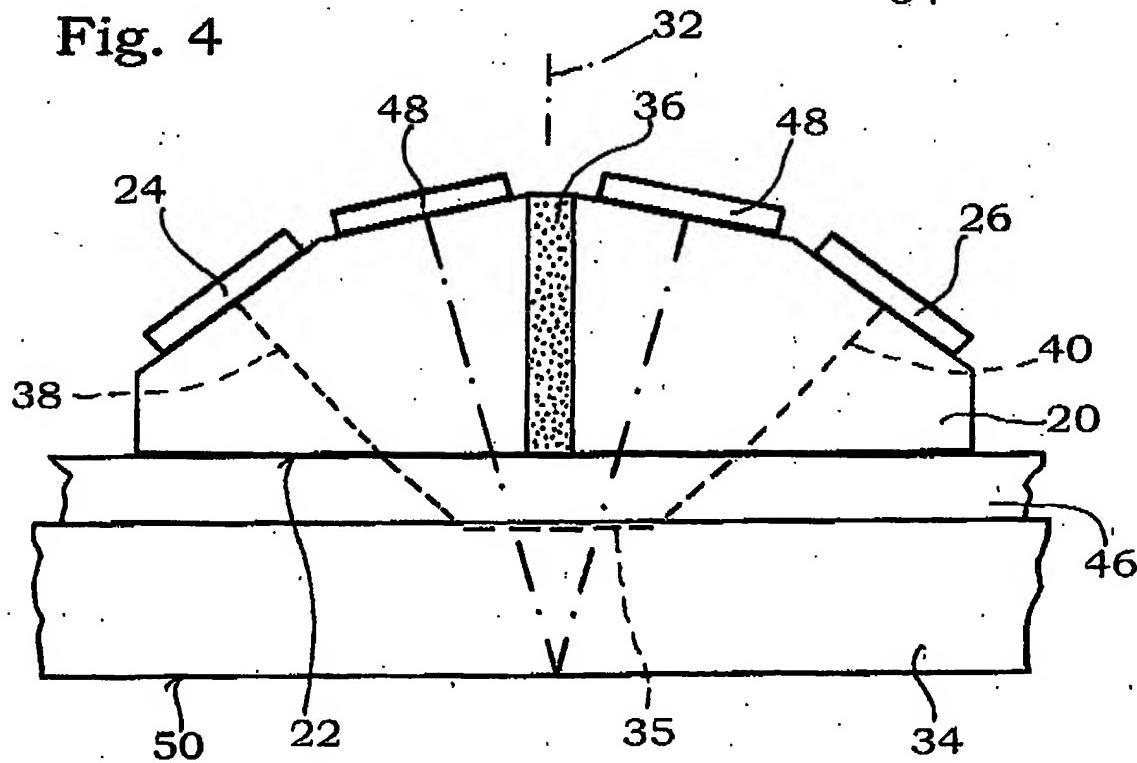


Fig. 4



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**